

最大下の腕, 脚, および腕と脚の同時作業 が酸素摂取量と心拍数に及ぼす影響

中京大学体育学部運動生理学研究室

湯浅 景元 矢 田 秀昭
藤松 博 朝比奈 一男
福永 哲夫

The effect of submaximal arm, leg, and combined arm and leg exercise on oxygen uptake and heart rate

K. Yuasa, H. Yata, H. Fujimatsu,
K. Asahina, and T. Fukunaga
Department of Exercise Physiology
Chukyo University

Five healthy male subjects were tested for oxygen uptake and heart rate during arm, leg, and combined arm and leg exercise on cycle ergometers. The maximal aerobic power ($\dot{V}O_{2max}$) of arm and combined arm and leg exercises were about 60% and 115% of leg exercise, respectively. For a given work load, higher oxygen uptake and heart rate were observed during arm exercise. While the oxygen uptake and heart rate relationship was essentially rectilinear up to high submaximal work loads when running, this relationship was curvilinear in arm cranking. For a given oxygen uptake, higher heart rate was obtained during arm exercise than leg exercise. When comparing combined arm and leg exercise to arm or leg exercise, lower heart rate was observed at a given oxygen uptake. This difference was more significant when the arm work intensity was 20% of the total rate of work. It was suggested that the difference in heart rate for a given oxygen uptake between arm, leg, and combined arm and leg exercise was due to a difference of stroke volume.

は じ め に

運動で使用する身体部位は主に腕と脚である。そして、腕だけを用いて作業を行なったとき、脚だけで作業したとき、あるいは腕と脚を同時に作業させたときの最大作業時での呼吸循

環応答に差がみられることはすでに知られている。例えば脚作業で得られた最大酸素摂取量を100%としたときの腕作業での最大酸素摂取量は68~89%, 腕と脚の同時作業では102~106%に相当することが報告されている^{7) 9) 11)}。し

かし, このような作業様式での最大下作業中における呼吸循環応答を比較した研究はあまりみられない¹⁰⁾。そこで本研究においては最大下作業レベルで腕, 脚, および腕と脚の同時作業を行なったときの酸素摂取量と心拍数応答を考察することにした。

被 検 者

被検者は年令 19~29 才の健康男子 5 名である。被検者 YU は体育学部教員であり, 他の 4 名は体育学専攻学生である。彼らの身長, 体重およびトレッドミル勾配走で得られた最大酸素摂取量の平均値±標準偏差は, それぞれ $170.2 \pm 2.22\text{cm}$, $61.1 \pm 7.07\text{kg}$, および $59.7 \pm 4.62\text{ml/kg}\cdot\text{min}$ であった (表 1)。

Table 1. Characteristics of the subjects

Subj.	Age (yrs)	Weight (kg)	Height (cm)	VO ₂ max (ml/kg·min)
YU	29	166.7	166.7	58.17
MU	18	55.0	170.0	66.18
FU	21	73.0	169.6	60.96
KO	22	56.0	171.5	52.04
OD	19	56.0	173.4	61.13
mean	21.8	61.10	170.24	59.70
S.D.	3.87	7.07	2.22	4.62

実 験 方 法

本実験で用いた作業様式を図 1—a と b に示した。特別製の鉄製作業台に自転車エルゴメーター (Monark, Sweden) を 2 台とりつけた。下の自転車エルゴメーターは水平方向への, そして上の自転車エルゴメーターは垂直方向への

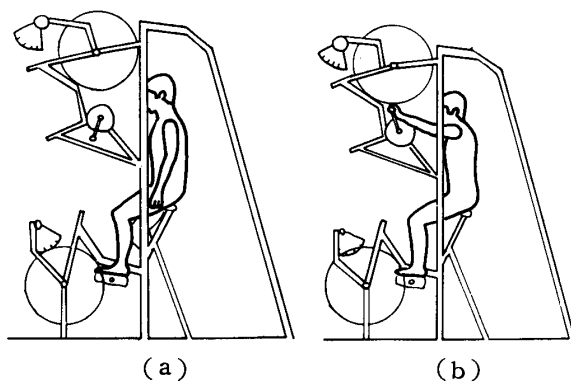


Fig. 1. Experimental setup for arm, leg, and combined arm and leg exercise

移動が可能となっており, 被検者ごとに 2 台の自転車エルゴメーターをそれぞれ適切な位置に調節できるようにした。

脚作業においては被検者はサドル上で座位姿勢をとり, 両腕は体側において脚だけでペダリング作業を行なった (図 1—a)。このときサドル高は被検者ごとに調節した。腕と脚の同時作業では, 2 台の自転車エルゴメーターを用いて腕のクランキング作業と脚のペダリング作業を同時に, しかも同一リズムで行なわせた (図 1—b)。この作業様式では被検者の座わっている自転車エルゴメーターのサドル高は脚作業時と同一にした。また, 腕作業で用いる自転車エルゴメーターは, クランク軸と被検者の肩峰の位置がほぼ水平になるように設置した。腕作業においては, 腕と脚の同時作業と同様の作業姿勢をとって腕だけで作業を行なわせた。なおこのとき両足をのせている自転車エルゴメーターの摩擦抵抗をとりぞいて脚にできる限り負荷が加わらないように配慮した。

腕作業では最初の 4 分間は 0 kpm/min の強度で作業を行ない, その後は, exhaustion に達するまで 4 分毎に作業強度を 90kpm/min ずつ漸増させた。脚作業においては 0 kpm/min の作業強度から開始して exhaustion に達するまで 4 分毎に 180kpm/min ずつ作業強度を

Table 2. The various types of combined arm and leg exercise

No.	Arm work load	Leg work load
1	0 kpm/min	0 kpm/min
2	0	360
3	0	720
4	0	1080
5	180	360
6	180	720
7	180	1080
8	360	360
9	360	720
10	360	1080
11	540	360
12	540	720
13	540	1080

増加させた。腕と脚の同時作業では12種類（被検者F Uは13種類）の作業強度の組合せのそれぞれについて5分間作業を行なわせた（表2）。このとき組合せ番号1～4, 5～7, 8～10, および11～13のそれぞれを一組として異なった日に実施し, 各作業間には少なくとも30分の休息を入れた。この作業様式では, 被検者Y UとMUは腕の作業強度 540kpm/min で脚の作業強度 720kpm/min のとき5分以内で **exhaustion** に達した。被検者F Uでは腕 540kpm/min, 脚1080kpm/minのとき5分以内で **exhaustion** となった。以上の作業テストは, 被検者の中の3名（Y U, MU, およびF U）について実施した。

また5名の被検者について 360kpm/min（腕と脚の同時作業では腕に 180kpm/min, 脚に 180kpm/min）の最大下作業強度で5分間の作業を行なったときの機械的効率を求めた。機械的効率は次式を用いて計算した。

$$ME = \frac{W \times t_1 \times 0.00234}{\{b + c - (t_1 + t_2)a\} \times 5} \times 100$$

ここで

ME : 機械的効率 (%)

a : 安静時酸素摂取量 (ℓ /min)

b : 作業時酸素摂取量 (ℓ)

c : 回復期酸素摂取量 (ℓ)

t_1 : 作業時間 (min)

t_2 : 回復時間 (min)

W : 作業強度 (kpm/min)

である。また 1 kpm = 0.00234 Cal, 酸素摂取量 1 ℓ = 5 Calとした。

ペダルやクランク回転数は全テストともメトロノームを用いて 60rpm に規定した。

さらに, 全員の被検者にトレッドミル勾配走テストを実施した。勾配は10%に固定し, トレッドミルスピードを 125m/min より **exhaustion** に達するまで 4分毎に 25m/min づつスピードを漸増した。

心拍数と酸素摂取量は, 各作業レベルについて最後の1分間に測定した。また **exhaustion** 前の少なくとも3分間は各項目を連続的に測定

した。心拍数は胸部双極誘導法で得た ECG の10秒間のR棘数から1分間値を求めた。酸素摂取量は Douglas bag 法で呼気ガスを採集し, サンプルガスの CO_2 および O_2 濃度の分析は Scholander 微量ガス分析器を用いて行なった⁸⁾。

結 果

各作業様式で得られた最大酸素摂取量 ($\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$) を比較すると, いずれの被検者についてもトレッドミル勾配走での $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ がもっとも高く, 腕作業での $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ が最低となった

Table 3. Maximal oxygen uptake during different types of exercise (l/min)

Type \ Subj.	YU	MU	FU
Arm	2.04	2.32	2.69
Leg	2.57	3.06	3.86
Combined Arm and Leg	3.26	3.38	4.17
Treadmill Run	3.81	3.64	4.45

（表3）。脚作業で得られた $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ を100%としたとき腕作業での $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ は約59.2%, 腕と脚の同時作業では115.1%, そしてトレッドミル勾配走では127.5%に相当した。

腕作業, 脚作業, および腕と脚の同時作業における作業強度と心拍数 (HR) および酸素摂取量 ($\dot{V}\text{O}_2$) の関係を図2に示した。腕作業

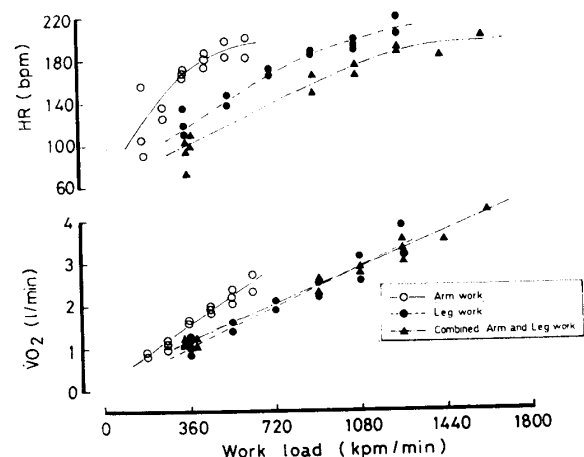


Fig. 2. Heart rate and oxygen uptake at submaximal work loads during various types of exercise

では, 作業強度の増加にともなうHRの上昇は他の作業様式に比較して急激であった。また, 同一作業強度におけるHRは 540kpm/min の作業強度までは腕作業がもっとも高く, 腕と脚の同時作業でもっとも低くなった。作業強度と $\dot{V}O_2$ の間には, いずれの作業様式についても直線関係がみられた。しかし, 同一作業強度での $\dot{V}O_2$ は腕作業でもっとも高くなった。このことは, 腕作業での機械的効率は他の作業様式よりも低いことを示唆していると考えられる。そこで 360kpm/min の作業強度で5分間作業を行ったときの機械的効率を5名の被検者について求めたところ, 腕作業では平均16%, 脚作業では20%, そして腕と脚の同時作業では17%となった(表4)。

Table 4. Mechanical efficiency for submaximal work (work load : 360 kpm/min ; work time : 5min)

Subj.	Arm	Leg	Arm and Leg
YU	16.4	20.3	16.5
MU	15.2	21.4	17.4
FU	16.3	19.4	16.1
KO	15.8	19.9	15.6
OD	17.3	20.3	18.2
mean	16.20	20.26	16.76
S.D.	0.70	0.66	0.93

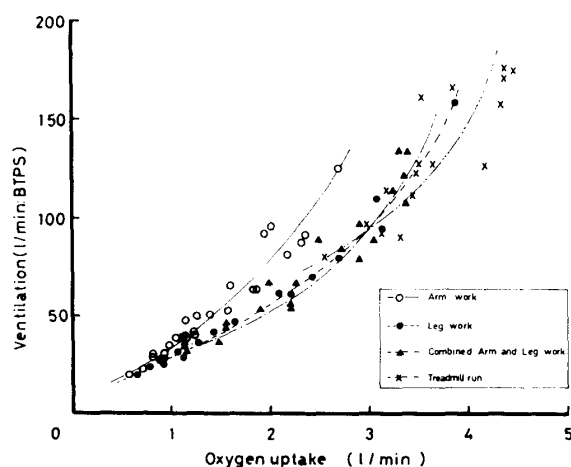


Fig. 3. The relationship between oxygen uptake and ventilation during different types of exercise

図3は $\dot{V}O_2$ と換気量($\dot{V}E$)の関係を示している。腕作業では他の作業様式よりも $\dot{V}E$ の増加は急激であり, 同一 $\dot{V}O_2$ での $\dot{V}E$ も高かった。トレッドミル勾配走の結果は腕作業や腕と脚の同時作業と同様の傾向を示した。

$\dot{V}O_2$ とHRの関係についてみると, いずれの作業様式においてもHRは $\dot{V}O_2$ の増加にともなって上昇した(図4)。しかし, 両者の関係

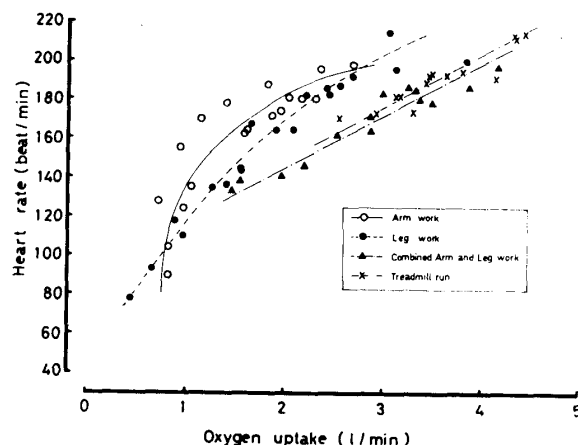


Fig. 4. Heart rate plotted against oxygen uptake determine in arm, leg, combined arm and leg, and treadmill exercises

は腕作業では曲線的に, 腕と脚の同時作業やトレッドミル勾配走では直線的となった。また脚だけの作業においても, わずかではあるが両者の間に曲線関係がみられた。

図5に腕と脚の同時作業において, 腕と脚のそれぞれに負荷する作業強度の配分の割合を変化させたときの作業強度とHRおよび $\dot{V}O_2$ の関係を示した。作業強度とHRの関係(図5の上)についてみると, 作業強度の100%を腕に負荷したとき(Arm work load, 100% of total work load : $A_{100} + L_0$)には他の条件よりもHRの上昇は急激であり, 540kpm/minの作業強度でHRはほぼその個人の最大値まで達した。作業強度を50%づつ腕と脚に配分したとき(Arm work load, 50% of total work load : $A_{50} + L_{50}$)には作業強度が360kpm/minのときのHRは約100beat/min, 720kpm/min

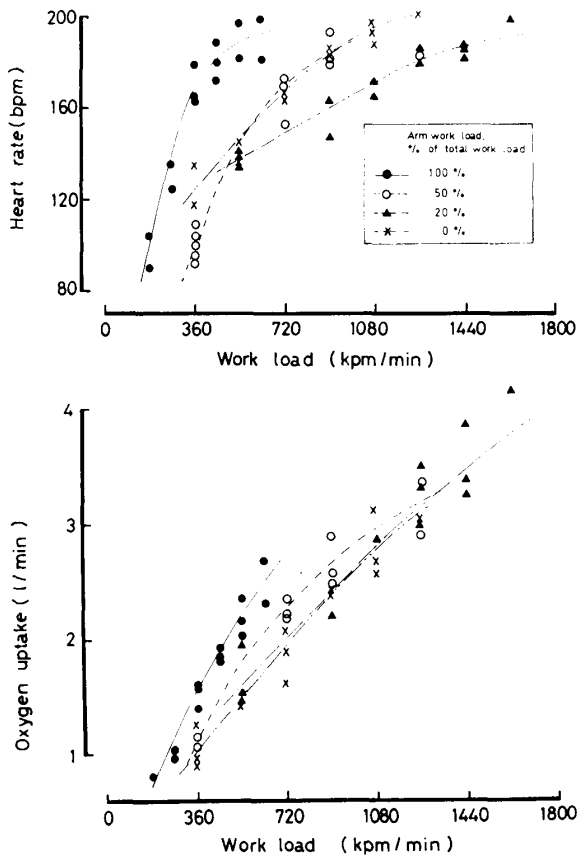


Fig. 5. Heart rate and oxygen uptake at increasing work loads in different types of combined arm and leg exercise

では 160beat/min, そして 900kpm/min で HR はほぼ最高値に達した。つぎに, 作業強度の 20% を腕に 80% を脚に負荷した条件 (Arm work load, 20% of total work load: $A_{20} + L_{80}$) では, 540kpm/min のときの HR は約 130beat/min を示した。この作業強度のときの $A_{100} + L_0$ での HR が 180beat/min 以上に達したのに比較すると $A_{20} + L_{80}$ での HR はかなり低いことがわかった。作業強度の 100% を脚に負荷したとき (Arm work load, 0% of total work load: $A_0 + L_{100}$) の結果は, $A_{50} + L_{50}$ とほぼ同様であった。同一作業強度での $\dot{V}O_2$ は $A_{100} + L_0$ が最高となった (図 5 の下)。 $A_{20} + L_{80}$ と $A_0 + L_{100}$ は類似した結果を示した。

酸素脈 (O_2 -P) はいずれの作業条件においても作業強度の増加にともなって上昇した (図

6)。また, 両者の関係は各作業条件ともほぼ同様であった。

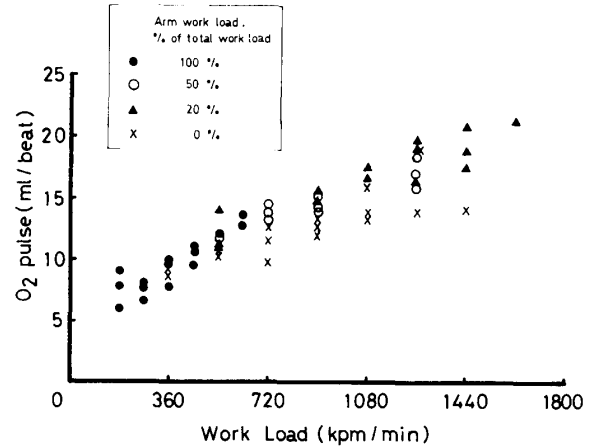


Fig. 6. The relationship between work load and oxygen pulse in different types of combined arm and leg exercise

同一 $\dot{V}O_2$ での HR は $A_{100} + L_0$ で最高値を示し, $A_{20} + L_{80}$ で最低値を示した (図 7)。ま

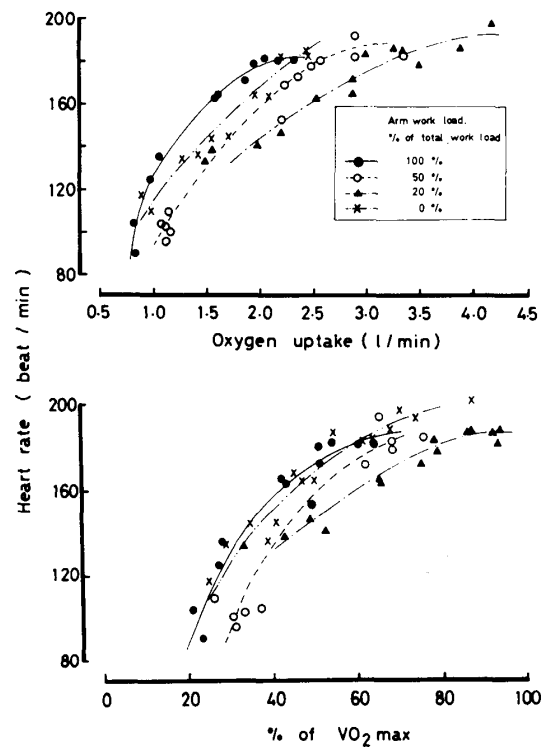


Fig. 7. Heart rate at increasing oxygen uptake and $\dot{V}O_2$ max in different types of combined arm and leg exercise

た A_0+L_{100} でのHRは, 同一 $\dot{V}O_2$ についてみた場合 $A_{50}+L_{50}$ や $A_{20}+L_{80}$ よりも高かった。同一% of $\dot{V}O_2\max$ におけるHRについてみると, $A_{100}+L_0$ と A_0+L_{100} では他の条件よりも高いHRであった。

論 議

腕と脚の同時作業で得られた $\dot{V}O_2\max$ は腕作業や脚作業より高かった。また脚作業での $\dot{V}O_2\max$ は腕作業よりも高い値を示した。トレッドミル勾配走での $\dot{V}O_2\max$ はこのような3種類の作業様式よりも高かった。脚作業で得られた $\dot{V}O_2\max$ を100%としたとき腕作業での $\dot{V}O_2\max$ は約59.2%, 腕と脚の同時作業では115.1%, そしてトレッドミル勾配走では127.5%に相当した。これらの値は以前に報告された結果と類似するものであった^{7) 9) 11)}。

最大下作業レベルでの $\dot{V}O_2$ とHRの間の関係は, トレッドミル勾配走のような全身作業においては直線的であることはすでに知られている^{1) 2) 6)}。しかし, 本実験の腕作業のように比較的局所作業においては $\dot{V}O_2$ とHRは曲線的関係となった。作業強度と $\dot{V}O_2$ や作業強度とHRの関係をみると, 前者では直線関係が, 後者では曲線関係がそれぞれ成立していることがわかった。したがって腕作業でみられた $\dot{V}O_2$ とHRの曲線関係の原因はHRにあるといえる。

また, 同一 $\dot{V}O_2$ におけるHRは脚作業よりも腕作業の方が高かった。Bevegård, S. たち⁴⁾は腕作業よりも脚作業の方が一回拍出量は低いことを報告しているが, このことが腕作業と脚作業でみられた $\dot{V}O_2$ とHR関係の差を生じさせたと考えられる。

Bergh, U. たち³⁾は腕と脚の同時作業では腕に20%, そして脚に80%の割合で作業強度を配分したときに $\dot{V}O_2\max$ は高い値となったことを報告した。本実験における最大下作業テストにおいても, 作業強度を腕に20%, 脚に80%配分したときに同一 $\dot{V}O_2$ におけるHRはもっとも低くなった。Freyschuss, U. たち⁵⁾は腕だけや脚だけで作業するよりも腕と脚の同時作業の

方が一回拍出量は高くなることを報告したが, おそらく上記のような割合で作業強度を腕と脚に配分したときがもっとも一回拍出量は高くなり, 同一 $\dot{V}O_2$ におけるHRは低くなったものと考えられる。

ま と め

以上の結果をまとめると次のようになる。

1) 作業強度 360kpm/min で5分間の作業を行なったときの機械的効率を5名の被検者の平均値についてみると, 腕作業では $16.2 \pm 0.70\%$, 脚作業では $20.3 \pm 0.66\%$, そして腕と脚の同時作業では $16.8 \pm 0.93\%$ であった。

2) 腕と脚の同時作業やトレッドミル勾配走では $\dot{V}O_2$ とHRは直線関係を示したが, 腕作業では両者の関係が曲線的となった。

3) 同一 $\dot{V}O_2$ におけるHRは脚作業よりも腕作業の方が高かった。また腕作業や脚作業よりも腕と脚の同時作業の方が同一 $\dot{V}O_2$ でのHRは低かった。腕に20%, 脚に80%の割合で作業を配分したときとくにHRは低くなった。このように作業様式や条件によって同一 $\dot{V}O_2$ におけるHRに差が生じた原因として一回拍出量が考えられる。

引 用 文 献

- 1) Åstrand, P.-O. and I. Rhyning. A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. J. Appl. Physiol. 7: 218-221, 1954.
- 2) Åstrand, P.-O. and B. Saltin. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. J. Appl. Physiol. 16: 977-981, 1961.
- 3) Bergh, U., I.-L. Kanstrup, and B. Ekblom. Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg exercise. J. Appl. Physiol. 41 (2): 191-196, 1976.
- 4) Bevegård, S., U. Freyschuss, and T. Strandell. Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position. J. Appl. Physiol. 21(1): 37-46, 1966.
- 5) Freyschuss, U. and T. Strandell. Libm

- circulation during arm and leg exercise in supine. *J. Appl. Physiol.* 23 (2) : 163-170, 1967.
- 6) Hermansen, L. and B. Saltin. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 26 : 31-37, 1969.
- 7) Reybrouck, T., G.F. Heigenhauser, and J.A. Faulkner. Limitations to maximum oxygen uptake in arm, leg, and combined arm-leg ergometry. *J. Appl. Physiol.* 38 (5) : 774-779, 1975.
- 8) Scholander, P.E. Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. *J. Biol. Chem.* 167 : 235-250, 1947.
- 9) Secher, N.H., N. Ruberg-Larsen, R.A. Binkhorst, and F. Bonde-Petersen. Maximal oxygen uptake during arm cranking and combined arm plus leg exercise. *J. Appl. Physiol.* 36 (5) : 515-518, 1974.
- 10) Vokac, Z., H. Bell, E. Bautz-Holter, and K. Rodahl. Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.* 39 (1) : 54-59, 1975.
- 11) Vrijens, T., P. Hoekstra, J. Bouckaert and P.V. Uytvanck. Effects of training on maximal working capacity and haemodynamic response during arm and leg-exercise in a group of paddlers. *Europ. J. Appl. Physiol.* 34 : 113-119, 1975.